

Physique 1

Présentation du sujet

Cette épreuve a pour but d'étudier un dispositif qui réalise un condensat de Bose-Einstein, à l'aide des lois de la physique classique, (mécanique du point, thermodynamique, magnétostatique, optique, électromagnétisme) et de quelques notions de mécanique quantique vues en première année, qu'un étudiant sortant de classes préparatoires doit maîtriser. Le problème est structuré autour de quatre parties de longueurs inégales.

La première partie, très courte, permet de mettre en place le problème de manière simple en introduisant le critère de condensation et en justifiant son aspect quantique.

La deuxième partie décrit le gaz à la sortie du four et dans la mélasse optique transverse.

La troisième partie, la plus longue, traite du système ralentisseur, on y étudie le piège magnéto-optique. Le champ magnétique qu'il faut créer pour maximiser la force de ralentissement exercée par le laser sur les atomes issus du four, grâce notamment à l'effet Zeeman, y est étudié de façon détaillée.

La quatrième et dernière partie traite de la fin du chemin pour arriver à la condensation. Le sujet se conclut de belle manière grâce à la démonstration expérimentale de la condensation de Bose-Einstein ; cette démonstration est basée sur « l'inversion de l'ellipticité ».

Analyse globale des résultats

Le sujet est de longueur raisonnable et relativement progressif : quelques candidats ont abordé la plupart des questions.

Dans la continuité des années précédentes, le jury a été particulièrement attentif à la validité scientifique des justifications données, et à la qualité de la rédaction. Ainsi les candidats armés d'une bonne connaissance du cours et des acquis de travaux pratiques, d'un bon sens physique, d'une bonne capacité d'analyse et d'une bonne maîtrise des méthodes habituelles (effectuer un bilan d'énergie, mettre en place de façon rigoureuse un principe fondamental de la dynamique, étudier les symétries et les invariances des causes afin d'en déduire des propriétés sur leurs effets, exploiter l'analyse dimensionnelle...), ont pu valoriser leurs qualités, sous réserve d'une rédaction suffisante.

De nombreuses compétences sont sollicitées dans ce sujet. La première est l'appropriation de ce sujet de physique fondamentale, à priori complexe, grâce à une lecture attentive de l'énoncé. En effet, en plus d'une description du dispositif permettant d'obtenir un condensat de Bose-Einstein, un graphique est fourni en début d'épreuve, qui peut servir de fil conducteur tout au long de l'épreuve, certains candidats ont su l'exploiter. Ce graphique permet ainsi de valider les résultats numériques hors normes qui arrivaient au fur et à mesure de la progression et du rapprochement du condensat de Bose-Einstein.

La présentation des copies est globalement satisfaisante, même si un petit nombre de copies s'est vu sanctionné en raison d'une présentation inacceptable, des fautes d'orthographes en excès, une écriture indéchiffrable, des résultats non mis en évidence.

Résolutions de problèmes

Dans ce problème, cinq questions sont identifiées comme des questions ouvertes ou résolutions de problèmes, nécessitant plus de temps de réflexion et d'autonomie, parce que moins guidées. Seule l'une d'entre elles a été très souvent abordée. Le jury rappelle aux candidats que les réponses à ces questions nécessitent

un effort de rédaction et que les schémas explicatifs sont toujours très appréciés, car ils permettent bien souvent d'appuyer une rédaction claire et concise.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Applications numériques

Un certain nombre d'applications numériques sont demandées (10 % du barème), la plupart demandent des résultats en ordre de grandeur, le jury rappelle alors aux candidats que le résultat attendu est une puissance de dix, accompagnée de son unité. Dans ce cas, un résultat donné avec un chiffre significatif est toléré, mais au-delà d'un chiffre significatif, le candidat n'a pas répondu correctement à la question, et se voit sanctionné. En ce qui concerne les autres applications numériques, le nombre de chiffres significatifs doit être adapté à celui des données de l'énoncé, encore une fois une lecture attentive de celui-ci est indispensable.

I Le critère de condensation

Q1. Les candidats savent faire une analyse dimensionnelle.

Q2. L'analyse de la dimension de la longueur d'onde thermique ne suffit pas, il faut relier son expression à celle de la longueur d'onde de de Broglie.

Q3. Il faut comprendre que $\left(\frac{1}{n^*}\right)^{1/3}$ représente la distance interatomique pour pouvoir conclure sur le recouvrement des fonctions d'onde.

Q4. Le résultat de l'application numérique devait être fourni avec deux chiffres significatifs.

II Du four à la mélasse transverse

Q5. La réponse attendue était $10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ car on demandait un ordre de grandeur. Cependant $2 \times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ était également accepté.

Q6. Comme pour la plupart des applications numériques, le jury s'attend à lire un commentaire sur le résultat obtenu. Ici, un lien avec le graphique donné en début d'énoncé était bienvenu.

Q7. L'équation vérifiée par v_z étant obtenue par application d'un principe fondamental de la dynamique, il est indispensable d'expliquer le système et le considérer ponctuel, de définir le référentiel et le considérer galiléen et d'effectuer un bilan des forces.

Q9. Quelques candidats utilisent la loi de Fick, alors que de toute évidence, il ne s'agit pas d'un problème de diffusion et que nul coefficient de diffusion n'est présent dans l'énoncé.

III Le ralentisseur et le piège magnéto-optique

Q10. Les connaissances des candidats sur le laser sont bonnes en général, nombreux sont ceux qui pensent à calculer la longueur de Rayleigh du laser, puis à comparer sa valeur à celle du dispositif.

Q12. Le facteur de qualité s'obtient par identification de l'équation différentielle avec l'équation différentielle écrite sous forme canonique, le jury attend une rédaction claire et explicite du raisonnement.

Q13. La charge q_e de l'électron étant négative, l'expression de l'amplitude $X(\omega)$ des oscillations doit donc faire apparaître $-q_e$, $|q_e|$ ou e .

Q14. L'application numérique directe donne un résultat nul à la calculatrice, il faut penser à effectuer un développement limité de l'expression avant de faire l'application numérique.

Q16. Cette question, dans laquelle un bilan de puissance est effectué, nécessite de la rigueur. Ce type de bilan est fait à plusieurs reprises en première et deuxième année de classes préparatoires scientifiques.

Q17. Le tracé doit être fait pour δ variant des valeurs négatives aux valeurs positives, en effet δ n'a aucune raison d'être strictement positif. Cette question, très abordable, a pourtant été très mal traitée par les candidats. Nombreux sont ceux qui trouvent une vitesse en sortie du ralentisseur supérieure à la vitesse d'entrée, parfois même supérieure à la vitesse de la lumière et qui ne réagissent pas !

Q21. Une question de cinématique pure, qui a souvent été bien traitée par les candidats.

Q23. Première résolution de problème du sujet, cette question a souvent été abordée, avec succès. Un schéma pour définir les sens des courants dans la bobine et le solénoïde était indispensable. Le jury rappelle aux candidats que l'étape finale d'une résolution de problème est une validation, qui peut se transformer éventuellement en analyse critique du résultat.

Q26. Le paramètre V peut être positif ou négatif, les courbes attendues doivent donc être représentées dans les deux domaines. La force étudiée ayant pour but de freiner les atomes, on s'attend à ce qu'elle soit négative lorsque V est positif et positive lorsque V est négative.

Q27 : Cette question permet de valoriser l'aptitude au calcul des candidats, puisqu'un développement limité était suggéré par l'énoncé.

Q28. Cette question est une question ouverte, qui devait être traitée à l'aide de considérations de symétries et de schémas, mais elle a été peu et mal abordée. Certains candidats ont essayé d'utiliser l'expression hors programme du champ magnétique créé par une spire sur son axe, ou la loi de Biot et Savart, hors programme aussi. Ces tentatives se sont avérées aussi maladroites qu'infructueuses.

IV Le refroidissement évaporatif et la condensation de Bose-Einstein

Q31. De nombreux candidats, ayant perdu le fil du sujet dans les questions précédentes, se sont rattrapés sur cette question de cours. Le jury a récompensé un traitement parfait de cette situation : analyse des symétries de la distribution de courant, schéma et orientation du contour d'Ampère, application du théorème d'Ampère.

Q32. Question qui utilise le résultat de la question précédente, mais nécessite un changement de repère. Les schémas des deux bases de projection, la cartésienne et la polaire sont indispensables.

Q35 et Q36. Le cours est bien connu.

Q38 et Q39. Le bilan d'énergie a généralement été bien effectué, c'est le passage aux variations infinitésimales qui a posé problème.

Q41 à Q44. Ces questions ont été peu traitées. On peut le regretter car la résolution de problème de **Q44** est abordable même si l'on n'a pas répondu à l'intégralité des questions précédentes, il faut cependant avoir bien lu l'énoncé et compris ce qu'est un condensat de Bose Einstein.

Q45. Le principe d'incertitude est généralement bien exprimé, mais les termes qui y figurent doivent être qualifiés d'« indétermination » et pas d'« incertitudes ».

Conclusion

Ce sujet, abordable pour qui connaît bien son cours des deux années de classe préparatoires, s'appuyant sur des questions classiques, des questions de calcul et des questions peu guidées a permis de très bien classer les candidats.

Les conseils donnés dans les rapports des années précédentes sont bien sûr encore valables. Nous insisterons sur certains points.

- Tout d'abord, quitte à se répéter dans ce rapport, il est essentiel de commencer par une lecture attentive de l'énoncé. Puis de le suivre dans ses hypothèses, ses notations, et comprendre pourquoi telle question est posée à tel moment du développement. Ainsi, il faut identifier clairement les résultats disponibles et les hypothèses effectuées à chaque question, ce qui permet de comprendre ce qui est attendu.
- Le barème valorise systématiquement le soin accordé au nombre de chiffres significatifs des résultats obtenus par lecture graphique, dans un tableau de données, ou encore à l'issue d'un calcul. La perte de temps et de points est colossale pour les candidats qui n'ont toujours pas compris ce principe. On rappelle tout particulièrement que lorsqu'un ordre de grandeur est demandé, le résultat doit faire apparaître une puissance de 10 accompagnée de son unité.
- Le jury valorise les commentaires pertinents faits spontanément à l'issue d'une application numérique, même s'ils ne sont pas explicitement demandés. Les commentaires comme : « c'est grand » ou « c'est très petit », sont à proscrire, il faut leur préférer des comparaisons avec des valeurs données dans l'énoncé, ou connues par le candidat. Dans tous les cas, il faut citer les valeurs des deux grandeurs homogènes que l'on compare.
- Les résolutions de problème doivent être abordées avec plus de méthode. Une simple application de la méthode « scientifique » permet 1– de récupérer des points *facilement* car les barèmes sont larges sur ce type de questions et évalués par compétences et 2– surtout d'aider à formaliser le problème et *donc* à trouver la bonne réponse !

Le jury a été enthousiasmé à la lecture de quelques copies exceptionnelles qui sont l'œuvre de candidats très bien préparés, connaissant très bien leur cours et maîtrisant l'analyse dimensionnelle, sachant raisonner en physiciens, capables d'une véritable analyse scientifique, livrant des commentaires d'une pertinence remarquable en prenant du recul, s'exprimant avec concision, clarté et efficacité. Il est donc d'autant plus désolé de compter autant de copies ne présentant quasiment aucune de ces qualités, pas même la plus fondamentale pour aborder une épreuve de concours : la maîtrise du cours.

Nous espérons que ces quelques conseils seront profitables aux futurs candidats.